

を限定した勧告となっており、G.722 の完全な置き換えは期

3.1.7 G.723.1 マルチメディア通信デュアルレート音声

G.723.1 は超低ビットレートテレビ電話 H.324 の音声符号化方式として、緊急に勧告化された。遅延時間の長い映像符号化に付随して使用するため、フレーム長は 30 ms と音声符号化方式としては長めであり、さらに LPC 分析のための先読みに 7.5 ms をとるため、アルゴリズム遅延時間は 37.5 ms である。片方向遅延時間は、これに符号化・復号化処理時間、伝送時間、多重化に関わるバッファリング時間等が加算され通常 100 ms 以上となるため、エコーアンテナ制御装置の併用が必要である。G.723.1 は、緊急勧告化という経緯から、2 つのアルゴリズム提案を加えた形となっており、6.3 kbit/s の MP-MLQ(Multi-Pulse Most Likelihood Quantization) と 5.3 kbit/s の ACELP を切り替えて使用する。アルゴリズム記述の詳細は ANSI-C コードによるビットイグザクトな固定小数点演算である。また、勧告本体の他に VAD(Voice Activity Detection), CNG(Comfort Noise Generator) を記述する Annex A, PC, WS 上で動作させるのに好都合な浮動小数点演算記述を示す Annex B, マルチメディア移動通信への応用に使用するチャネル符号化を記述する Annex C が追加された。

3.1.8 G.728 LD-CELP 符号化

3.1.8.1 概要

LD-CELP は図 3.3, 図 3.4 の符号器と復号器からなる。基本構造は CELP であり、合成による分析 (AbS, Analysis by Synthesis) を用いて励振ベクトルを探索する。遅延時間を短くするため、合成フィルタと利得予測にバックワード適応化を利用し、陽に伝送するのは励振コードブックの指標のみである。アルゴリズム遅延はベクトルサイズ（次数）である 5 サンプル (0.625 ms) のみである。

3.1.8.2 LD-CELP 符号器

符号器の説明のため、以下のように用語を使う。

- (1) サンプル番号を k とする。サンプリング周期は $125 \mu\text{s}$ である。
- (2) 5 サンプルの組（1 ブロック単位）をベクトルと呼び、ベクトル番号を n とする。
- (3) 4 つの連続するベクトルで 1 つの適応化周期（フレーム）を構成す

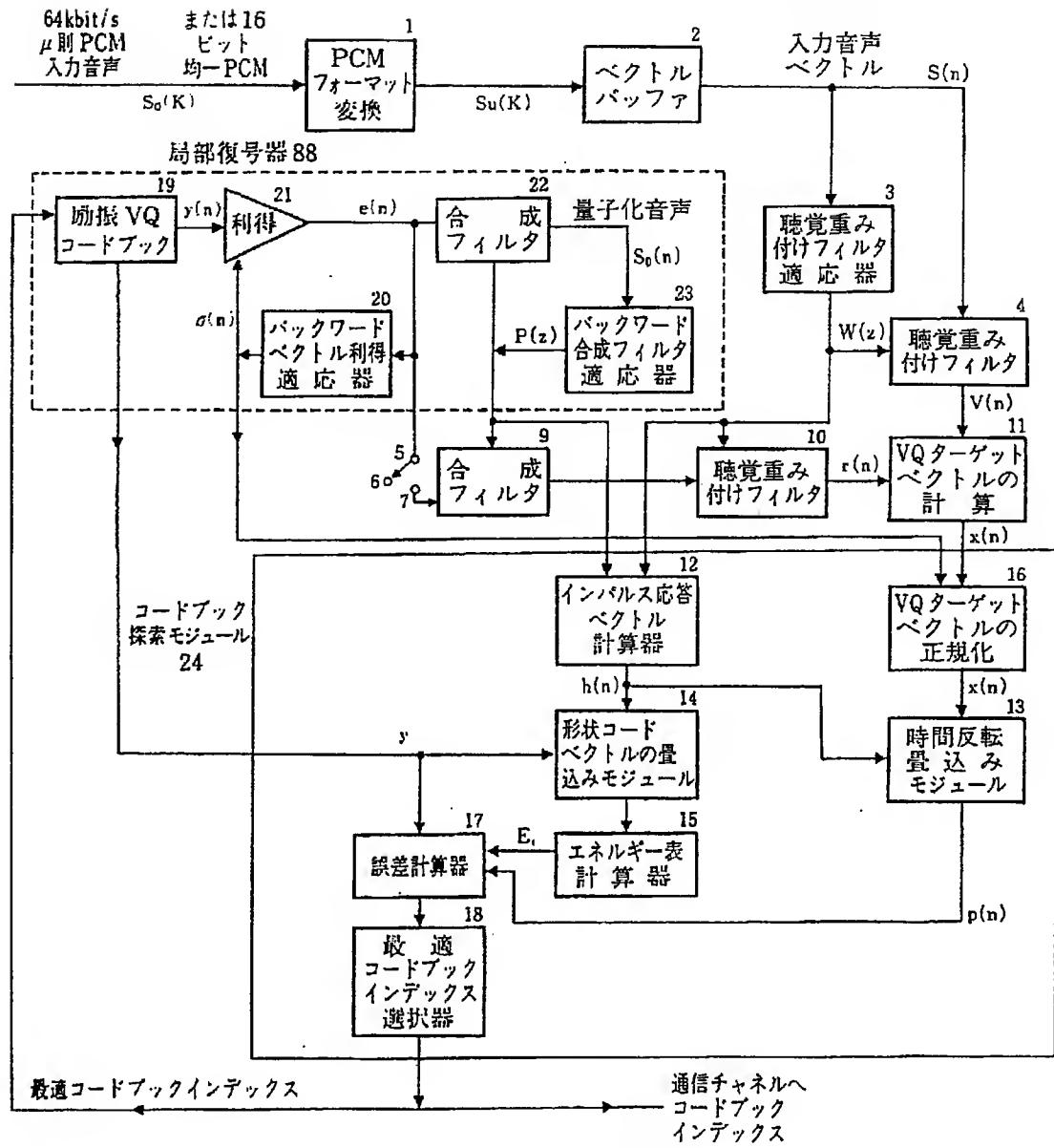


図 3.3 LD-CELP 符号器

る。1フレームは2.5 ms, 20サンプルである。

符号化入力信号の精度は 13 ビットとし、仮に入力データが 16 ビットの整数であるときは、8 で除算（右 3 ビットシフト）する。一つのベクトルに対し、1024 個のコードブックベクトル候補を利得調整と合成フィルタに通し、その結果のベクトルと入力信号を比較し、聴覚重み付けされた二乗平均誤差が最小となるものを探索する。

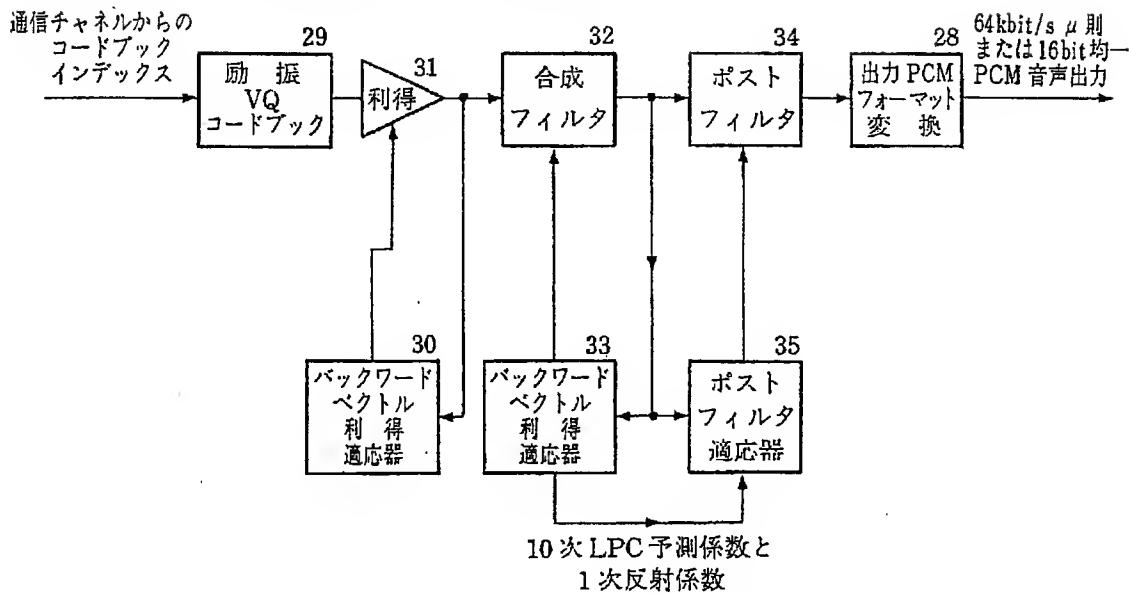


図 3.4 LD-CELP 復号器

3.1.8.3 LD-CELP 復号器

復号もベクトル単位に行う。受信した 10 ビットの指標から励振ベクトルを抽出し、利得調整と LPC 合成を行う。聴感品質向上のため、適応ポストフィルタを使用する。

3.1.8.4 聽覚重み付けフィルタと適応器

歪みが最小となる励振ベクトルを探査するが、単に最小二乗誤差を適用すると、一般にエネルギーが低音域に偏った音声では、低音のみの歪が小さな励振ベクトルが選ばれ、聴感上の品質は良くない。そこで、音声のスペクトル包絡に応じた重み付けを行うため、LPC フィルタを AR 形式で表し、その打ち消し成分を MA 形式で表し、重み付けを行う。原入力音声の LPC 分析に基づきフレームごとにフィルタ係数を算出する。入力音声から、ハイブリッド窓掛け、レビンソンダービン再帰法モジュールを通って LPC 係数を求める。はじめに、(1) ハイブリッド窓掛けモジュール、(2) レビンソンダービンモジュールについて述べる。

3.1.8.5 ハイブリッド窓掛けモジュール

ハイブリッド窓掛けモジュールは、聴覚重み付け、バックワード LPC、バックワード利得予測の 3 種にそれぞれ用いられるので、一般的に説明する。

L サンプルのフレームごとに LPC 分析を行うとすると、窓は L ごとにシ

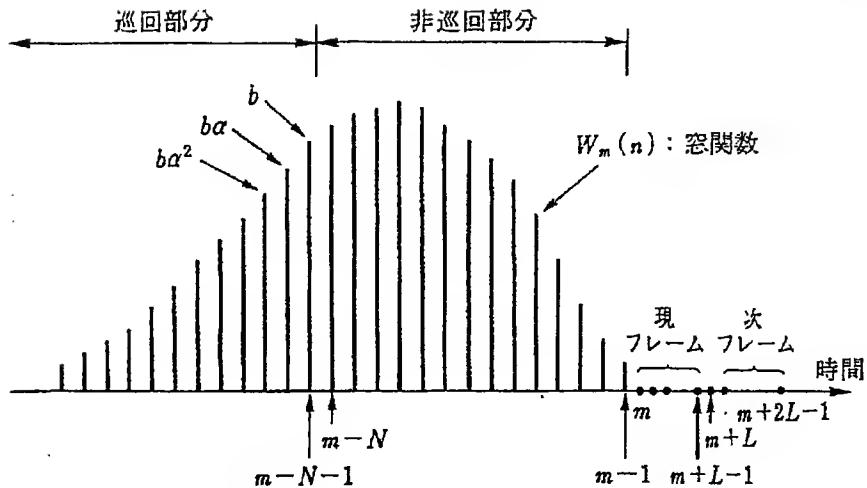


図 3.5 ハイブリッド窓

フトする。図 3.5 に示すように、窓は N サンプルの非巡回部分と、それよりも過去の巡回部分からなる。巡回部分は、指数関数的に減衰することを利用して次フレームで再利用できるためこう呼ぶ。時刻 m における窓関数 $w_m(k)$ を式 (3.8) に定義する。

$$w_m(k) \begin{cases} f_m(k) = b\alpha^{-(k-(m-N-1))}, & k \leq m - N - 1 \\ g_m(k) = -\sin(c(k-m)), & m - N \leq k \leq m - 1 \\ 0, & k \geq m \end{cases} \quad (3.8)$$

窓掛け後の信号 $S_m(k)$ は式 (3.9) で表される。

$$S_m(k) = S'_m(k)W_m(k) \begin{cases} S'_u(k)f_m(k) = S'_u(k)b\alpha^{-(k-(m-N-1))}, & k \leq m - N - 1 \\ S_u(k)g_m(k) = -S'_u(k)\sin(c(k-m)), & m - N \leq k \leq m - 1 \\ 0, & k \geq m \end{cases} \quad (3.9)$$

3 種の用途に応じた窓の係数はそれぞれあらかじめ計算し、数表で与える。 M 次の LPC に備えて、 $M + 1$ 個の自己相関係数 $R_m(i)$ を式 (3.10) により求めておく。

$$R_m(i) = \sum_{k=-\infty}^{m-1} S_m(k)S_m(k-i) = r_m(i) + \sum_{k=m-N}^{m-1} S_m(k)S_m(k-i) \quad (3.10)$$

巡回成分を分離して書くと式 (3.11) となる。

$$r_m(i) = \sum_{k=-\infty}^{m-N-1} S_m(k)S_m(k-i) = \sum_{k=-\infty}^{m-N-1} S_u(k)S_u(k-i)f_m(k)f_m(k-i) \quad (3.11)$$

巡回成分は、時刻 m で求めた $r_m(i)$ をメモリに格納しておけば、 $r_{m+L}(i)$ が式 (3.12) によって求まり、演算量が削減される。

$$r_{m+L}(i) = \alpha^{2L} r_m(i) + \sum_{k=m-N}^{m+L-N-1} S_{m+L}(k)S_{m+L}(k-i) \quad (3.12)$$

聽覚重み付けにおいては、 $M = 10, L = 20, N = 30, \alpha = (1/2)^{1/40}$ である。

3.1.8.6 レビンソンダービン再帰法モジュール

レビンソンダービンアルゴリズムにより自己相関係数から LPC 係数を算出する前に、LPC 係数値のダイナミックレンジを狭め、フィルタの安定性を高める目的で、自己相関係数の白色雑音補正を行う。これは式 (3.13) に示すように、 $R(0)$ のみをわずかに嵩上げするものであり、原信号に無相関信号（白色雑音）を加えたのと等価である。

$$R(0) \leftarrow \left(\frac{257}{256} \right) R(0) \quad (3.13)$$

レビンソンダービン再帰法モジュールは、LPC 係数を 1 次から、10 次まで、再帰演算により求める。 i 次の LPC 係数が 1 組をなし、10 次まで、逐次更新するとき、 i 次の LPC 係数を $a_j(i)$ で表す。初期値 $E(0) = R(0)$ として、反射係数 k_i と残差エネルギー $E(i)$ を用い式 (3.14a)～(3.14b) により、逐次 $a_j(i)$ を求める。

$$k_i = -\frac{R(i) + \sum_{j=1}^{i-1} a_j R(i-j)}{E(i-1)} \quad (3.14a)$$

$$a_i^{(i)} = k_i \quad (3.14b)$$

$$a_j^{(i)} = a_j^{(i-1)} + k_i a_{i-j}^{(i-1)}, \quad 1 \leq j \leq i-1 \quad (3.14c)$$

$$E(i) = (1 - k_i^2) E(i-1) \quad (3.14d)$$

式 (3.14a)～(3.14d) を $i = 1, 2, \dots, 10$ について繰り返し、進めたときの $a_j(10)$ が最終的な LPC 係数である。